

EVALUASI KINERJA STRUKTUR BETON GEDUNG FAKULTAS EKONOMI UNKHAIR DENGAN ANALISIS PUSHOVER ATC-40

Tata A.^{1*}, Imran², Fais Imron³

^{1,2,3}, Program Studi Teknik Sipil FT Unkhair
Jln. Pertamina Gambesi Ternate 55281 INDONESIA
¹arbatata@yahoo.co.id

Abstrak: Saat terjadi gempa, diharapkan bangunan mampu menerima gaya gempa pada level tertentu tanpa terjadi kerusakan yang signifikan pada strukturnya atau apabila struktur bangunan harus mengalami keruntuhan mampu memberikan perilaku nonlinear pada kondisi pasca-elastik sehingga tingkat keamanan bangunan terhadap gempa dan keselamatan jiwa penghuninya lebih terjamin. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan level kinerja gedung dalam menahan gaya gempa dan mengetahui kapasitas gempa terhadap struktur serta perilakunya dengan memperlihatkan skema terjadinya sendi plastis pada elemen balok dan kolom. Metode yang digunakan adalah analisis *static nonlinear pushover* berdasarkan peraturan *code Applied Technology Council (ATC-40)* dengan menggunakan program ETABS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gaya geser dari evaluasi pushover pada arah x sebesar 4316.438 KN dan arah y sebesar 4004.549 KN. Gaya geser dasar tersebut lebih besar dari gaya geser rencana arah x=2376.284 KN dan arah y=2606.559 KN. Maksimum total drift arah x adalah 0.00995 m dan arah y 0.01127 m, sedangkan maksimal in-elastic drift arah x adalah 0.0001145 m dan arah y adalah 0.0001251 m. Sehingga gedung termasuk dalam level kinerja Immediate Occupancy (IO). Nilai displacement arah x adalah 0.219 m dan arah y adalah 0.248 m. Displacement pada gedung tidak melampaui displacement maksimal, sehingga gedung aman terhadap gempa rencana.

Kata kunci : ATC-40, kinerja, pushover, sendi plastis

I. PENDAHULUAN

Berdasarkan letak geologis Indonesia, wilayah Maluku Utara khususnya Kota Ternate terletak pada lempeng Pasifik. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa Kota Ternate berada dalam lingkaran wilayah yang kapan saja dapat terjadi gempa. Ditahun 2007, 2014 dan 2015 lalu telah terjadi peristiwa gempa dengan kekuatan besar yang mengguncang Kota Ternate, Maluku Utara. Hal ini menjadi perhatian dalam dalam perencanaan desain struktur bangunan tahan gempa. Oleh karena itu, seorang perencana di tuntut untuk merencanakan struktur tahan gempa sesuai dengan ketentuan yang ada.

Pushover analysis adalah suatu analisis statik nonlinier dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban – beban statik yang menangkap pada pusat massa masing – masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur–angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi elastis. Kemudian disusul pelelehan (sendi plastis) di lokasi yang lain di struktur tersebut[1].

Perkembangan teknologi sangat membantu perencana dalam perencanaan dan analisis terhadap kinerja suatu struktur bangunan. Tersedianya program SAP 2000 dan ETABS mampu menyederhanakan dalam bentuk pemodelan yang sebelumnya sangat kompleks apabila dikerjakan secara konvensional. Penelitian ini dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut: Struktur gedung Fakultas Ekonomi UNKHAIR berfungsi sebagai gedung perkuliahan, dengan ketinggian 4 lantai. Struktur yang digunakan adalah struktur beton. Sistem struktur yang digunakan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

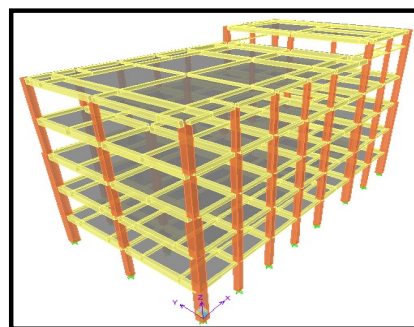
Perilaku struktur dianalisis dengan menggunakan metode *pushover*. Kriteria level kinerja menggunakan *Applied Technology Council* (ATC - 40)[2].

Dengan program berbasis elemen hingga menjadi pilihan dalam menganalisis evaluasi kinerja struktur beton pada gedung bertingkat. Dalam hal ini digunakan bantuan program ETABS, dan subyek yang diambil adalah gedung Fakultas Ekonomi Universitas Khairun Kota Ternate, Maluku Utara. Penelitian ini dilakukan untuk menunjukkan kurva kapasitas, hubungan *base shear* dengan *displacement* pada kurva *pushover* sebagai tahapan perilaku struktur saat terjadi gaya geser dasar pada level tertentu serta *performance point* [3]. Makalah ini menunjukkan kinerja struktur gedung Fakultas Ekonomi UNKHAIR dengan analisis *pushover* berdasarkan kriteria level kinerja ATC-40 [4]. Dengan menerapkan beban statik ekuivalen, analisis dinamik respon spektrum dan analisis *pushover*. Pola keruntuhan gedung Fakultas Ekonomi UNKHAIR sehingga dapat diketahui joint – joint yang mengalami kerusakan dan mengalami kehancuran, mekanisme terbentuknya sendi plastis dari hasil perhitungan program ETABS juga dibahas dalam makalah ini [4],[5] dan [6].

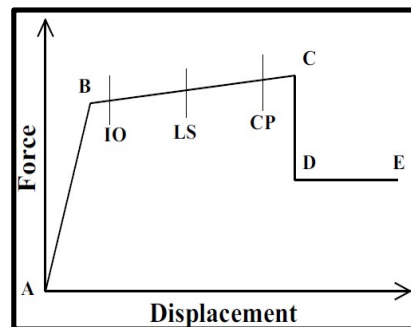
II. METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam penelitian merupakan studi literatur yaitu pengumpulan data dan informasi bangunan gedung yang dianalisis dari *shop drawing* Fakultas Ekonomi UNKHAIR. Dengan pendekatan kuantitatif yang merupakan hasil analisis struktur Gedung dengan menggunakan ETABS V. 9.7. Analisis pembebanan dengan beban mati, hidup dan gempa wilayah Ternate. Pada gambar 1. Model Struktur dan analisis kinerja struktur untuk mengetahui level kinerja gedung terhadap gempa. Menurut ATC-40, kriteria struktur tahan gempa dapat ditunjukkan pada Gambar 1.a sebagai berikut [4] dan [5]:

- *Immediate Occupancy* (IO)
Bila gempa terjadi, struktur mampu menahan gempa tersebut, struktur tidak mengalami kerusakan struktural dan tidak mengalami kerusakan non struktural. Sehingga gedung dapat langsung dipakai atau digunakan kembali.
- *Life Safety* (LS)
Bila gempa terjadi, struktur mampu menahan gempa, dengan sedikit kerusakan struktural, manusia yang tinggal atau berada pada bangunan tersebut terjaga keselamatannya dari gempa bumi.
- *Collapse Prevention* (CP)
Bila gempa terjadi, struktur mengalami kerusakan struktural yang sangat berat, tetapi belum runtuh.



a. Model Struktur Gedung Ekonomi



b. Kurva kriteria kinerja

Gambar 1. Model dan Kurva kriteria kinerja struktur (ETABS)

Beban mati dan beban hidup

Dari perhitungan yang telah dilakukan didapatkan hasil perhitungan untuk beban mati dan beban hidup tiap lantai, yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini. Selanjutnya analisis statik

nonlinier dapat dilakukan. dengan memasukkan beban titik pusat massa dalam bentuk **Diafragma** pada setiap lantai dengan bantuan program ETABS.

Tabel 1. Hasil perhitungan beban mati dan beban hidup tiap lantai

Lantai	Beban Mati Tambahan (KN)	Beban Hidup Tereduksi (KN)	Berat Sendiri Struktur (KN)	Beban Total (KN)
1	2379.04	285.70	3103.97	5768.71
2	2369.04	285.70	3053.08	5707.81
3	2489.04	285.70	3007.84	5782.58
4	889.04	285.70	2877.28	4052.02
Atap 1	408.40	101.38	1569.03	2078.80
Atap 2	64.80	41.47	609.80	716.07
Beban Total	8599.36	1285.63	14220.77	24105.99

Beban gempa

Dari analisis yang telah dilakukan didapatkan hasil perhitungan distribusi beban gempa untuk arah x dan arah y, serta hasil perhitungan gaya gempa tiap lantai. Seperti yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. Hasil perhitungan distribusi gempa untuk setiap arah

Tingkat	Beban Total (kN)	h (m)	W x h (kNm)	Fx (kN)	Fy (kN)
1	5768.71	4	27490.313	182.556	200.250
2	5707.81	8	59377.464	394.310	432.528
3	5782.58	12	94974.079	630.698	691.827
4	4052.02	16	92018.283	611.070	670.296
Atap 1	2078.80	20	60696.801	403.072	442.139
Atap 2	716.07	22	23277.086	154.577	169.559
$\Sigma Wt =$	24105.99	$\Sigma WxZ =$	357834.0248		

Tabel 3. Perhitungan gempa 100% arah yang ditinjau dan 30% arah tegak lurus

Lantai	Fx (kN)	30% Fx (kN)	Fy (kN)	30% Fy (kN)
1	182.556	54.767	200.250	60.075
2	394.310	118.293	432.528	129.758
3	630.698	189.210	691.827	207.548
4	611.070	183.321	670.296	201.089
Atap 1	403.072	120.922	442.139	132.642
Atap 2	154.577	46.373	169.559	50.868

Tabel 4. Perhitungan koordinat pusat massa pada tiap lantai

Lantai	Pusat Massa		Pusat Rotasi		ed = 1.5e + 0.05b		Koordinat Pusat Massa	
	X	Y	X	Y	X	Y		
1	15	8	15	8	1.5	0.8	13.50	8.80
2	15	8	15	8	1.5	0.8	13.50	7.20
3	15	8	15	8	1.5	0.8	13.50	7.20
4	15	8	15	8	1.5	0.8	13.50	7.20
Atap 1	12	8	15	8	-150	0.8	18.15	7.20
Atap 2	26.5	8	18	8	16.425	0.8	0.57	7.20

Tabel 5. Nilai *performance level* statik ekivalen

Parameter	Arah x	Arah y
<i>Performance Level</i>	<i>Immediate Occupancy</i> (IO)	<i>Immediate Occupancy</i> (IO)
Maksimal Total Drift	0.003814	0.004177
Maksimal <i>in-elastic Drift</i>	0.0032909	0.0036727

Maksimal *Total Drift* < 0.01 dan maksimal *in-elastic Drift* < 0.005 termasuk kriteria struktur tahan gempa *Immediate Occupancy* (IO), dimana apabila gempa terjadi, struktur mampu menahan gempa tersebut, struktur tidak mengalami kerusakan struktural dan tidak mengalami kerusakan non struktural sehingga dapat langsung digunakan kembali.



Gambar 2. Respon spektrum gedung Fakultas Ekonomi UNKHAIR

Menurut SNI 1726-2012 untuk menentukan faktor skala gempa menggunakan rumus $RSP_y = (G_x I) / R$ untuk arah x dan faktor skala gempa arah y adalah 30% dari arah x.

Tabel 6. Faktor skala gempa respon spektrum

Percepatan Gempa	Arah (<i>Direction</i>)	Faktor Skala
RSPX	U1	2.984
	U2	0.895
RSPY	U1	0.916
	U2	3.054

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bangunan ekisting yang telah dimodelkan dan dianalisis pengaruh gempa pada struktur yang belum memperhitungkan kondisi nonlinier dengan analisis dinamik respons spektrum sesuai dengan SNI 2847- 2013 dimana bangunan kampus Fakultas Ekonomi terolong dalam kategori Rangka beton bertulang pemikul momen khusus resiko tinggi (D) dengan tanah sedang seperti pada Gambar 2. Selanjutnya untuk struktur harus dikalikan dengan faktor modifikasi respon (R) dengan nilai 8, faktor kuat lebih (Ω) dengan nilai 3 dan faktor pembesaran defleksi (C_d) dengan nilai 5,5. Hasil analisis menunjukkan nilai *modal load participation ratios*.

Tabel 7. Hasil perhitungan *performance level* dinamik respon spektrum

Parameter	Arah x	Arah y
Maksimal Total Drift	0.002718	0.002859
<i>Performance Level</i>	<i>Immediate Occupancy</i> (IO)	<i>Immediate Occupancy</i> (IO)
Maksimal <i>in-elastic Drift</i>	0.0021500	0.0023091
<i>Performance Level</i>	<i>Immediate Occupancy</i> (IO)	<i>Immediate Occupancy</i> (IO)

Simpangan Struktur

Dari perhitungan yang telah dilakukan, besarnya simpangan antar lantai arah x dan arah y ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

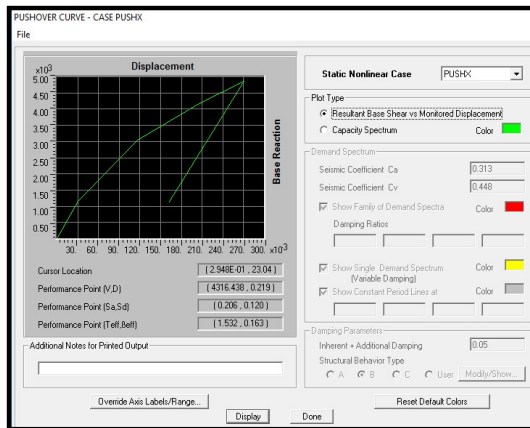
Tabel 8. Besar simpangan gedung arah x

Lantai	Tinggi Tingkat (h), (mm)	Simpangan (mm)	Simpangan Antar Lantai (Δ), (mm)	Diizinkan (Δ_a), (mm)	Ket.
1	4000	11.71	11.710	40	OK
2	4000	29.49	17.780	40	OK
3	4000	46.61	17.120	40	OK
4	4000	61.57	14.960	40	OK
Atap 1	4000	74.15	12.580	40	OK
Atap 2	2000	79.57	5.420	20	OK

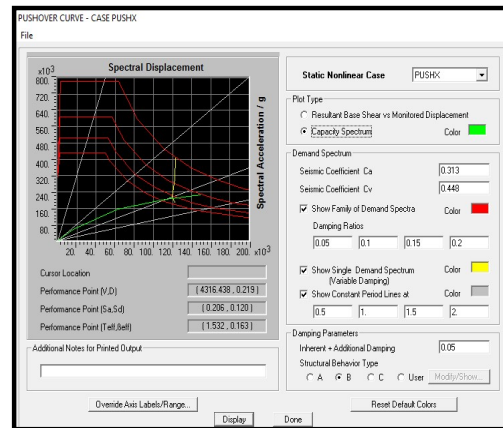
Tabel 9. Besar simpangan gedung arah y

Lantai	Tinggi Tingkat (h), (mm)	Simpangan (mm)	Simpangan Antar Lantai (Δ), (mm)	Diizinkan (Δ_a), (mm)	Ket.
1	4000	11.22	11.220	40	OK
2	4000	29.02	17.800	40	OK
3	4000	47.32	18.300	40	OK
4	4000	61.22	13.900	40	OK
Atap 1	4000	80.49	19.270	40	OK
Atap 2	2000	88.78	8.290	20	OK

Kurva kapasitas merupakan kurva hubungan antara perpindahan lateral lantai teratas / atap (*displacement*) dengan gaya geser dasar (*base shear*) sebagai hasil dari analisis *pushover* yang disajikan dalam gambar 3 bagian a dan b.



a. Kurva kapasitas (arah x)



b. Kurva kapasitas spektrum(arah y)

Gambar 3. Kurva kapasitas spektrum arah x dan rah y

Memasukkan nilai C_a dan C_v berdasarkan data respon spektrum. Dengan tipe struktur B berdasarkan tabel 8-4 ATC-40.

Tabel 10. Nilai *performance point* (arah x)

Performance Point					
V (kN)	D (m)	Sa (g)	Sd (m)	Teff (det)	β_{eff} (%)
4316.438	0.219	0.206	0.177	1.532	0.163

Tabel 11. Nilai *performance point* (arah y)

<i>Performance Point</i>					
V (kN)	D (m)	Sa (g)	Sd (m)	Teff (det)	βeff (%)
4004.549	0.248	0.181	0.114	1.587	0.206

- Menurut SNI 1726-2012 persyaratan *displacement limit* ditentukan berdasarkan $2\% \times H = 0.02 \times 22 = 0.44$ m (arah x dan arah y).
Arah x = 0.44 m > D = 0.219 m
Arah y = 0.44 m > D = 0.248 m
Dengan demikian *displacement* gedung tersebut memenuhi syarat keamanan.
- Dari tabel diatas dapat dilihat nilai gaya geser dasar :
V = 4316.438 KN (arah x)
V = 4004.549 KN (arah y)
Dari perhitungan gaya geser dasar didapat :
Vx = 2376.248 KN
Vy = 2606.599 KN
Syarat $V > 0.8 V_1$
Arah x, 4316.438 KN > 1901.027 KN
Arah y, 4004.549 KN > 2085.279 KN
- βeff = 0.163 % (arah x)
βeff = 0.206 % (arah y)
Nilai tersebut lebih kecil dari batasan redaman efektif yang diizinkan yaitu 40 %.
- Kinerja gedung berdasarkan ATC-40 tabel 11-2.
D = 0.219 m (arah x) D1 = 0.0115 m (arah x)
D = 0.248 m (arah y) D1 = 0.0111 m (arah y)
D (*displacement* atap) dan D1 (*displacement* lantai diatas penjepit lateral).
a. Maksimal *Drift* = D/H
b. Maksimal *In-elastic Drift* = (D – D1) / H

Tabel 12. Hasil perhitungan *performance level pushover*

Parameter	Arah x	Arah y
Maksimal Total Drift	0.00995	0.01127
Performance Level	Immediate Occupancy (IO)	Immediate Occupancy (IO)
Maksimal in-elastic Drift	0.0001145	0.0001251
Performance Level	Immediate Occupancy (IO)	Immediate Occupancy (IO)

Perhitungan *Performance Point* Menurut ATC-40 Dalam Format ADRS

- Perhitungan Kurva Kapasitas menjadi Kurva Spektrum
Faktor α dan MPF

Tabel 13. Nilai *displacement* tiap lantai

No.	Lantai	Tinggi	<i>Displacement</i>	
		(m)	X	Y
1	Atap 2	22	0.0839	0.0919
2	Atap 1	20	0.0712	0.0843
3	Lantai 4	16	0.0678	0.0658
4	Lantai 3	12	0.0507	0.0521
5	Lantai 2	8	0.0339	0.0322
6	Lantai 1	4	0.0115	0.0111

Arah X

$$(\sum w_i \Phi_i)^2 = 1072938.6818 \text{ KNm}$$

$$\begin{aligned}
 (\sum w_i \Phi_i)^2 &= 56.3919 \text{ KNm}^2 \\
 (\sum w_i) &= 24105.987 \text{ KN} \\
 \alpha_1 &= \frac{(\sum w_i \Phi_i)^2}{(\sum w_i \Phi_i^2) \times (\sum w_i)} = 0.7893 \\
 MPF &= \frac{(\sum w_i \Phi_i)}{(\sum w_i \Phi_i^2)} = 18.3684
 \end{aligned}$$

Arah Y

$$\begin{aligned}
 (\sum w_i \Phi_i)^2 &= 1116761.1729 \text{ KNm}^2 \\
 (\sum w_i \Phi_i^2) &= 60.6896 \text{ KNm}^2 \\
 (\sum w_i) &= 24105.987 \text{ KN} \\
 \alpha_1 &= \frac{(\sum w_i \Phi_i)^2}{(\sum w_i \Phi_i^2) \times (\sum w_i)} = 0.7633 \\
 MPF &= \frac{(\sum w_i \Phi_i)}{(\sum w_i \Phi_i^2)} = 17.4127
 \end{aligned}$$

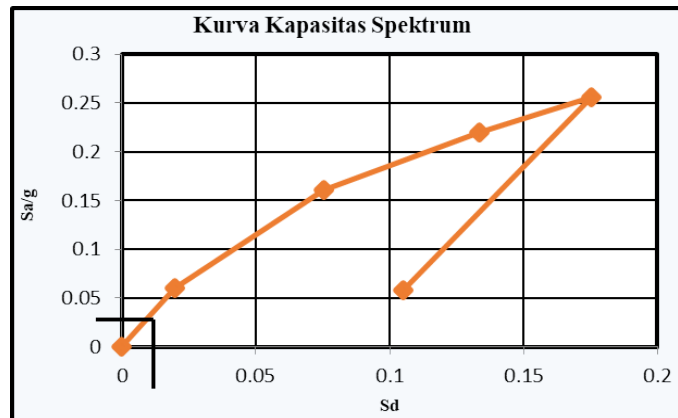
Merubah Kurva Kapasitas Menjadi Kapasitas Spektrum

$$S_a/g = \frac{V_b/W_t}{\alpha_1} \quad (1)$$

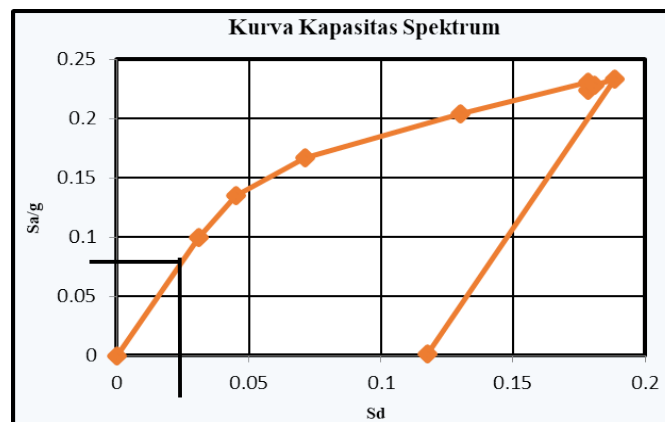
$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{MPF \times \Phi_{roof}} \quad (2)$$

Untuk arah x nilai $\alpha_y = 0.060$ dan $\alpha_y = 0.020$

Kurva kapasitas hasil Analisa pushover diubah menjadi spektrum kapasitas melalui persamaan 1 dan 2, sebagai hasil dari analisis *pushover* yang disajikan dalam gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Kurva kapasitas spektrum arah x format ADRS



Gambar 5. Kurva kapasitas spektrum arah y format ADRS

Untuk arah x nilai $a_y = 0.100$ dan $d_y = 0.031$

Koordinat *performance point* arah x (0.179 ; 0.101), sedangkan koordinat *performance point* untuk arah y (0.182 ; 0.102).

Tabel 14. Koordinat <i>performance point</i>			
Arah x		Arah y	
Sd	Sa	Sd	Sa
0.101	0.179	0.102	0.182

Performance level arah x

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{MPF \times \Phi_{roof}} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \Delta_{roof} &= S_d \times MPF \times \Phi_{roof} \\ &= 0.101 \times 18.3684 \times 0.092 \\ &= 0.170 \end{aligned}$$

$$\frac{\Delta_{roof}}{H} = \frac{0.170}{22} = 0.00775$$

Sehingga *performance point* arah x pada kondisi **Immediate Occupancy (IO)**.

Indek kepercayaan efektif (β_{eff}) = $5 + (\beta_o \times k)$, untuk mendapatkan nilai β_{eff} perlu dihitung nilai β_o dengan rumus:

$$\beta_o = \frac{53.7 (a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} \quad (4)$$

Tabel 15. Hasil perhitungan β_{eff}

Arah	dpi	api	dy	ay	β_o	β_{eff}
x	0.101	0.179	0.020	0.060	8.819	10.909
y	0.102	0.182	0.031	0.100	15.695	15.516

Rekapitulasi Perbandingan Evaluasi Kinerja

Tabel 16. Evaluasi kinerja dengan analisis statik ekivalen

Parameter	Arah x	Arah y
Maksimal Total Drift	0.003814	0.004177
Performance Level	Immediate Occupancy (IO)	Immediate Occupancy (IO)
Maksimal in-elastic Drift	0.0032909	0.0036727
Performance Level	Immediate Occupancy (IO)	Immediate Occupancy (IO)

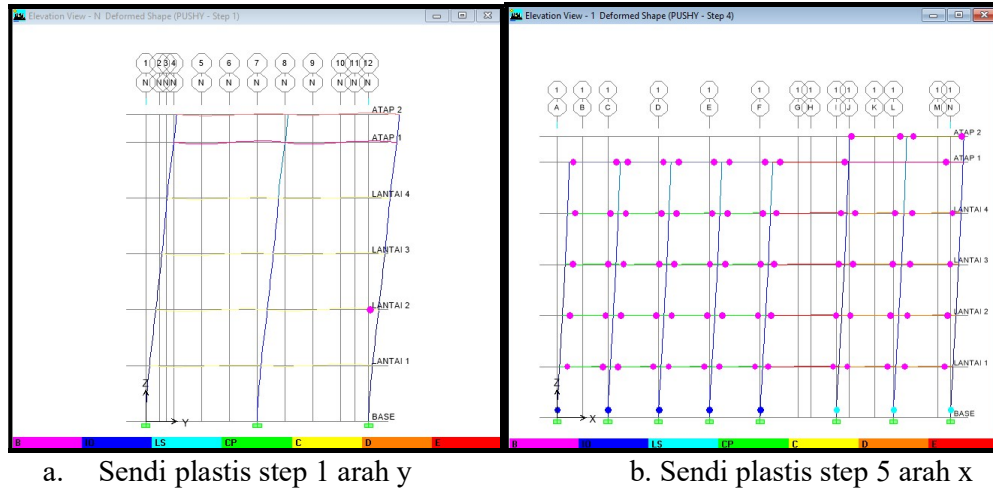
Tabel 17. Evaluasi kinerja dengan analisis dinamik respon spektrum

Parameter	Arah x	Arah y
Maksimal Total Drift	0.002718	0.002859
Performance Level	Immediate Occupancy (IO)	Immediate Occupancy (IO)
Maksimal in-elastic Drift	0.0021500	0.0023091
Performance Level	Immediate Occupancy (IO)	Immediate Occupancy (IO)

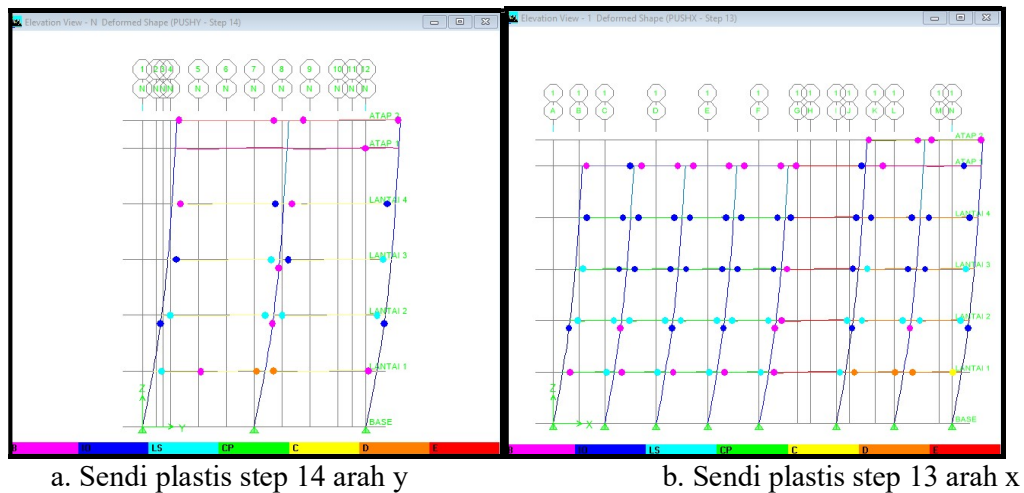
Tabel 18. Evaluasi kinerja dengan analisis *pushover*

Parameter	Arah x	Arah y
Maksimal Total Drift	0.00995	0.011127
Performance Level	Immediate Occupancy (IO)	Immediate Occupancy (IO)
Maksimal in-elastic Drift	0.0001145	0.0001251
Performance Level	Immediate Occupancy (IO)	Immediate Occupancy (IO)

Skema disitribusi sendi plastis plastis arah x, Gambar portal sendi plastis pada beberapa step dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Sendi plastis step 1 dan 5 arah x (portal)



Gambar 7. Sendi plastis beberapa step arah x dan y

Tabel 19. Tingkat kerusakan struktur

Kategori	Simbol	Penjelasan
B	●	Menunjukkan batas linear yang kemudian diikuti terjadinya pelelehan pertama pada struktur.
IO	●	Terjadi kerusakan yang kecil atau tidak berarti pada struktur, kekakuan struktur hampir sama pada saat belum terjadi gempa.
LS	●	Terjadi kerusakan mulai dari kecil hingga tingkat sedang. Kekakuan struktur berkurang tetapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan.
CP	●	Terjadi kerusakan yang parah pada struktur sehingga kekuatan dan kekakuannya berkurang banyak.
C	●	Batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung.
D	●	Terjadinya degradasi kekuatan struktur yang besar, sehingga kondisi struktur tidak stabil dan hampir <i>collapse</i> .
E	●	Struktur sudah tidak mampu menahan gaya geser dan hancur.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa gaya geser dari evaluasi pushover pada arah x sebesar 4316.438 KN dan arah y sebesar 4004.549 KN. Gaya geser dasar tersebut lebih besar dari gaya geser rencana arah x=2376.284 KN dan arah y=2606.559 KN. Maksimum total drift arah x adalah 0.00995 m dan arah y 0.01127 m, sedangkan maksimal in-elastic drift arah x adalah 0.0001145 m dan arah y adalah 0.0001251 m. Sehingga gedung termasuk dalam level kinerja Immediate Occupancy (IO). Nilai displacement arah x adalah 0.219 m dan arah y adalah 0.248 m. Displacement pada gedung tidak melampaui displacement maksimal, sehingga gedung aman terhadap gempa rencana.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil evaluasi kinerja dengan analisis pushover yang dilakukan terhadap Gedung Fakultas Ekonomi UNKHAIR Ternate, maka dapat di simpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Sesuai dengan persyaratan ATC-40, evaluasi kinerja struktur dengan analisis statik ekuivalen, analisis dinamik respon spektrum dan analisis pushover pada tinjauan arah x dan arah y semuanya memenuhi nilai level kinerja Immediate Occupancy (IO).
2. Hasil performance point dari output ETABS dan hasil performance point dari prosedur analisis pushover sama-sama mempunyai level kinerja Immediate Occupancy (IO), yang berarti bahwa struktur mampu menahan gaya gempa, struktur tidak mengalami kerusakan struktural dan non struktural. Sehingga gedung dapat langsung dipakai atau digunakan kembali.
3. Dari Kurva kapasitas tinjauan arah x dan arah y memberikan gambaran perilaku struktur mulai dari tahap kondisi elastic hingga in-elastic kemudian struktur mengalami keruntuhan yang ditunjukkan oleh kurva dengan penurunan tajam.

REFERENSI

- [1] Pranata, Y. A., 2006, Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan Pushover Analysis (sesuai ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440), *Jurnal Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha*, Vol. 3, No. 1, hal 41 – 52.
- [2] Applied Tecnology Council (ATC 40), 1999, *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, Redwood City, California, USA: DC.
- [3] Computer and Structures, Inc., 2010, *ETABS Extended 3D Analysis of Building System – Nonlinear version 9.7.2 Copyright 1984 – 2010*, A Product of Computers and Structures, Inc., 1995: University Ave., Berkeley, CA.
- [4] Federal Emergency Management Agency, 2004, *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures ATC – 55 Project FEMA – 440*, Washington, DC.
- [5] Dewobroto, W., 2005, Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisis Pushove , *Prosiding Civil Engineering National Conference : Sustainability Construction & Structural Engineering Based on Professionalism*, 27 hal, Semarang: Universitas Katolik Soegijapranata.
- [6] Kholilur, R., 2009, Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Diagnostic Center RSUD DR. Sudono Madiun dengan Pushover Analysis, *Jurnal AGRITEK Fakultas Teknik Universitas Merdeka Madiun*, Vol. 10, No. 1, hal. 39 – 50.